

7. Delay Lines

Verzögerungsspeicher

„A train of pulses or the information which they represent may be regarded as stored in the mercury whilst it is travelling through it.“
– Alan Turing, 1947¹

Rundfunk - Ästhetik

In der Ausgabe des Journals *Broadcast News* vom Dezember des Jahres 1934 findet sich ein kurzer Artikel, der über eine neue klangästhetische Optimierung des US-amerikanischen Rundfunks berichtete. Nunmehr war es möglich geworden, Klangräume zu simulieren. In den New Yorker Studios der National Broadcasting Company (NBC) – „world's largest broadcasting studio in Radio City“² – befanden sich hierfür drei Räume, in denen sich keine Menschen aufhielten, sondern in denen ausschließlich akustische Signale zirkulierten. Was dem 1802 eröffneten Nationaltheater auf dem Berliner Gendarmenmarkt von seinen Zeitzeug:innen als defizitär bescheinigt wurde (vgl. Kap. 1), wurde nun, rund 130 Jahre später, von Seiten der NBC intendiert: „The rooms themselves are ‚brilliant‘, that is, their ceilings, walls and floors are tile and concrete, so that every sound made in them ‚bounces back‘.“³ Genannt wurden diese Räume Echokammern, denen akustische Signale durch ‚sound tunnels‘ von entweder 20, 40 oder 80 Fuß Länge zugeleitet wurden. Ihr Zweck war es, „to control the amount of reverberation so that the voice from

1 Turing, Alan M. (1992 [1947]): „Lecture to the London Mathematical Society on 20 February 1947“, in: *Mechanical Intelligence. Collected Works of A.M. Turing*, Vol. 1, hrsg. v. Darrel Ince, Amsterdam et al., 106-124, 109.

2 Anonym (1934): „How Echoes Are Produced: NBC Engineers Perfect Artificial Sound Reflection“, in: *Broadcast News* 13, 26-27, 26.

3 Ebd.

the ordinary-sized studio could be made to appear to be coming from the smallest or the largest-sized room".⁴ In der Rundfunkpraxis der NBC hatten sich die Echo-kammern bereits etabliert: Die durch sie ermöglichte Vielfalt an akustischer Sze-nerie bereicherte diverse Sendungen der NBC, wie im Artikel betont wurde.

Aus prozessarchitektonischer⁵ Perspektive formatierten die Klangröhren die praktische Signalarbeit des Rundfunks derart, dass das originäre Studio möglichst wenig Nachhall aufzuweisen hatte; im Falle der NBC den 75/100 Teil einer Sekun-de.⁶ Ein im Studio per Mikrophon aufgenommener Klang wurde gesplittet und das gedoppelte Signal wurde qua Klangtunnel einer Echokammer zugeleitet. Gemäß der Länge des gewählten Tunnels wurde eine Verzögerung der akustischen Signale bewirkt. In den Echokammern befanden sich wiederum Mikrophone, die die nun verzögerten und in der Kammer ‚verklangräumlichten‘ Signale detektierten. Diese mit Nachhall und Verzögerung angereicherten Klangsignale wurden dem originären ‚trockenen‘ Signal der Hauptleitung beigemischt, um akustische Räume zu produzieren: Je nach Länge der verwendeten Verzögerungsleitung konnte die Dauer des Nachhalls variiert oder ein Echoeffekt erzielt und der szenische Ein-druck verschiedener akustischer Räume manipuliert werden. „Kann man Raum hören?“ fragte 1936 Rudolf Arnheim in seinem Grundlagenwerk *Radio*.⁷ Ja, man kann – und man kann solche auditiven Räume künstlich konstruieren, wie die fol-gende Abbildung der NBC schematisch zeigt (vgl. Abb. 26).

4 Ebd.

5 Mit dem Begriff der Prozessarchitektur referiere ich in Anschluss an Wolfgang Schäffner und Susanne Jany auf das medientechnische Äquivalent architektonischer Prozessarchi-tekturen, welche verstanden werden als „operative Gefüge (...), die durch ein ineinander-greifendes System aus Speicherungs-, Übertragungs- und Verarbeitungseffekten jene Strukturen ausbilden, die die zeitgenössischen Kriterien ‚zweckmäßiger Anlagen‘ erfüllen.“ Vgl. Jany, Susanne (2015): „Operative Räume. Prozessarchitekturen im späten 19. Jahrhundert“, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 12(1), 33-43, 34-35. In den mediengesellschaftlichen Prozessarchitekturen, denen sich dieses Kapitel widmet, stellen Verzöge-rungsleitungen das Modul dar, das für die Signalspeicherung (qua Übertragung) zustän-dig ist.

6 Anonym (1934): „How Echoes Are Produced“, 26.

7 In der englischen Übersetzung fragte Arnheim eröffnend im Kapitel „Spatial Resonance“: „Can we hear space?“ Arnheim, Rudolf (1936): *Radio*, übers. v. Margaret Ludwig u. Her-bert Read, London, 95.

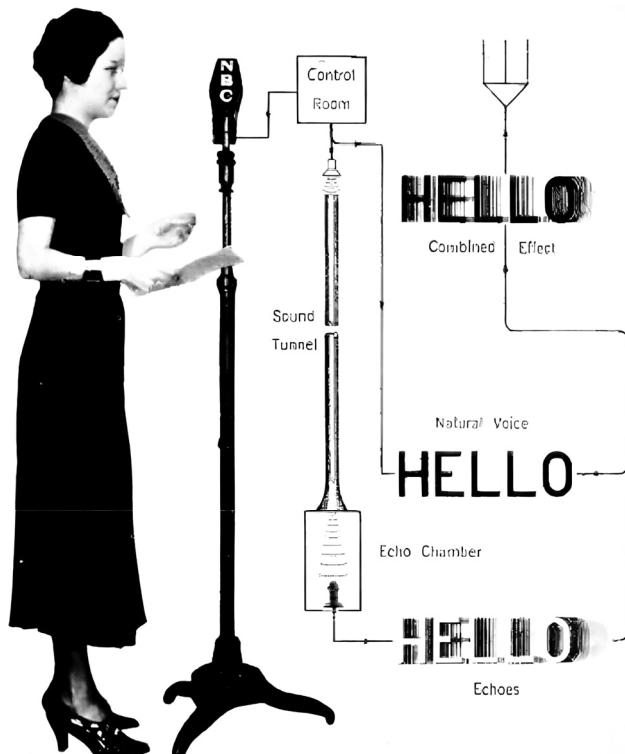


Abbildung 26: Medientechnische Prozessarchitektur zur Simulation von Raumklang: unterschiedliche Signalwege eines durch ein Mikrofon aufgenommenen akustischen Signals. Der „Sound Tunnel“ erfüllte die Funktion einer Verzögerungsleitung.

Nachhall und Echo wurden klangästhetisch produktiv. Nunmehr konnten sie unter kontrollierten Bedingungen der elektro-mechanischen Signalmanipulation erzeugt werden.⁸ Dadurch wurden akustische Räume gestaltbar, deren zentrale Bedeutung für die Musikästhetik bereits bekannt war.⁹ Bis dato war die analoge Tonstudio-

⁸ Zur frühen Arbeit an Klangästhetiken des Rundfunks vgl. Fischer, Sabine (2013): „Ferne Zuhörer (United Nations, 1946)“, in: dies.: *Hellhörige Häuser. Akustik als Funktion der Architektur, 1920-1970*, Dissertation, ETH Zürich, 150-162. Am Schweizer Akustiker Franz Max Osswald illustriert Fischer den Wandel der technischen Ausgestaltung von Radiostudios in der Schweiz in den 1920er Jahren. Denn „[e]in Rückblick auf Franz Max Osswalds Ratschläge für die raumakustische Gestaltung eines Radiostudios zur Mitte der 1920er Jahre verdeutlicht, wie sich die Anforderungen an die Senderäume mit der Entwicklung der Nachrichtentechnik veränderten.“ Ebd., 156.

⁹ Vgl. Maxfield, Joseph P./Harrison, Henry C. (1926): „Methods of High Quality Recording and Reproducing of Music and Speech Based on Telephone Research“, in: *The Bell System*

und Rundfunktechnik bei der Produktion akustischer Räume auf Architektur verwiesen. Die Beziehung von Raum und Klang, „a connection as old as architecture itself“¹⁰ wie Emily Thompson in *The Soundscape of Modernity* schreibt, wurde durch Verzögerungsleitungen zwar noch nicht aufgehoben. Dennoch standen architektonischer Raum und Nachhall oder gar Echo in der Rundfunkpraxis nicht mehr in einem unveränderlichen Verhältnis. Es konnten auditive Räume erklingen, die auf kein real existierendes Vorbild verweisen mussten. „Sound Tunnels“ bzw. Verzögerungsleitungen, *delay lines*, in ihrer Verwendung zur Erzeugung von Nachhall- und Echo-Eindrücken evozierten damit eine sukzessive Emanzipation akustischer Phänomene von Architekturen. Im Unterschied zu digitalen Verfahren der Produktion von Klangräumen stellten *delay lines* noch Manipulationen auf Basis tatsächlichen Schwingungsverhaltens dar: Sie basierten auf der physikalischen Ausbreitung von Klang, mithin dem Zeit-Raum-Regime von Akustik – aber unter nunmehr gestaltbaren Bedingungen. Bis dato war es lediglich möglich gewesen, den akustischen Eindruck eines architektonischen Raumes zu re-produzieren, d.h. vor Ort aufzunehmen und diese Aufnahme zu einem späteren Zeitpunkt wieder abzuspielen oder direkt von dort aus Rundfunk zu senden. Bedeutung erlangten akustische Verzögerungsleitungen daher in der klangästhetischen Hörspielpraxis, die mit dem Problem konfrontiert war, szenisch authentische auditive Raumindrücke zu gestalten. Hierzu muss man sich die historische Situation des Rundfunks vergegenwärtigen: Hörspiele waren Anfang der 1930er Jahre nicht vorproduziert, sondern mangels Tonbandtechnik genuine Live-Ereignisse, die im Senderaum aufgeführt wurden. Um Szenen verschiedener Raumwirkung aufeinander folgen zu lassen, mussten verschiedene Senderäume genutzt werden – was zu praktischen Komplikationen führte.

Wohl 1926¹¹ wurde zum ersten Mal vorgeschlagen, das Prinzip der Signal-Duplikation und Verzögerung eines der beiden Signale durch eine *delay line* klang-

Technical Journal 5, 493-523. Dort heißt es z.B.: „In recording work (...) one of the important acoustic characteristics of a room is its time of reverberation.“ Ebd., 495. Für Grundlagenforschung zur Nachhallzeit von Räumen vgl. prominent Sabine, Wallace C. (1923): „Reverberation“, in ders., *Collected Papers on Acoustics*, Cambridge, MA, 3-68.

10 Thompson, Emily (2002): *The Soundscape of Modernity. Architectural Acoustics and the Culture of Listening in America 1900-1930*, Cambridge, MA, 172.

11 Round, Henry Joseph/West, Arthur Gilbert Dixon (1927): „Transmission and Reproduction of Sound“, United States Patent Office No. 1.853.286, Application filed May 6, 1927, Patented April 12, 1932. Das Patent wurde bereits 1926 in Großbritannien eingereicht. Round und West gelten als Radiopioniere. Im Patent konzeptualisierten sie Echo- bzw. Hallräume zu Mitteln der Produktion von Klangästhetik im Kontext von Rundfunksendungen. Dort hieß es, dass ein dupliziertes Signal durch verschiedene lange Leitungen („pipes“) gesendet werden könne, um einen Hall- oder Echo-Effekt zu erzielen, ebd., 2.

ästhetisch nutzbar zu machen.¹² Dass dies im Rundfunk praktiziert wurde, beschrieb prominent Rudolf Arnheim in seinem 1936 erschienenen theoretischen Grundlagenwerk *Radio*, in welchem er eine graphische Schematisierung des Prinzips publizierte.¹³ Das Buch gibt hinsichtlich des technischen und kunsttheoretischen Stands der Rundfunkpraxis zur Mitte der 1930er Jahre valide Auskunft. Arnheim diskutierte insbesondere die ästhetischen Wirkungen auditiver Räume. In diesem Kontext kommentierte er technische Verfahren der Manipulation und Simulation akustischer Raumeindrücke, um Hörbilder zu erschaffen bzw. die Klangsignaturen natürlicher und architektonischer Räume zu imitieren, um eine auditive Mobilität zu suggerieren:

„Bisher benutzt man die Kombination mehrerer Senderäume ziemlich ausschließlich dazu, Szenen mit verschiedener Raumwirkung aufeinander folgen zu lassen. Was hier aber noch für Möglichkeiten schlummern, erhellt bspw. daraus, daß man den Raumhall unabhängig von dem Raum, in dem der Sprecher sich tatsächlich befindet, variieren kann.“¹⁴

Arnheim plädierte für eine Radiopraxis, in welcher in Hörspielen ein originäres Klangsignal in einem möglichst ‚trockenen‘ Raum eingesprochen und anschließend durch Verzögerungsleitungen in andere architektonische Räume geleitet werden sollte. So konnte der Raumklang dieser anderen Räume durch separate Sender-Empfänger-Anordnung eingefangen werden, wie es bereits früher von Seiten der NBC expliziert wurde:

„Der Sprecher spricht etwa in einer abgedämpften Kabine. Seine Worte gehen über den Sender, zugleich aber auch in einen zweiten Senderraum, der eine sehr starke Hallwirkung haben möge und in dem sie nun durch einen Lautsprecher erklingen. Was da aus dem Lautsprecher erklingt, erweckt in diesem zweiten Raum einen sehr starken Hall, und diesen Hall kann man nun in beliebiger Dosierung ebenfalls über den Sender leiten.“¹⁵

12 Eine frühe Darlegung über die Vorteile akustischer Verzögerungsleitungen zu Testzwecken – bei den Bell Laboratories – findet sich bei Mason, W.P. (1931): „Acoustic Delay Circuits“, in: *Bell Laboratories Record* 9(9), 430-432. Vgl. hierzu auch Blackwell, O.B. (1932): „The Time Factor in Telephone Transmission“, in: *The Bell System Technical Journal* 11, 53-66.

13 Arnheim (1936): *Radio*, 97.

14 Hier und im Folgenden zitiere ich aus dem deutschen Original von *Radio*: Arnheim, Rudolf (2001 [1936]): *Rundfunk als Hörkunst und weitere Aufsätze zum Hörfunk*, Frankfurt a.M., 63.

15 Ebd., 63-64.

Für Arnheim begründeten die Fortschritte in der Mikrophontechnik einen experimental-ästhetischen Auftrag des Auslotens der Gestaltungsmöglichkeiten auditiver Räume. Die Potenziale der Organisation von Klangräumen lagen für ihn in der Andeutung räumlicher Flexibilität und einer akustischen Authentizität oder zumindest Plausibilität des Hörspiels: „Hört man anstelle eines weithallenden Raums plötzlich einen engen, so wird man, zumindest im naturalistischen Hörspiel, auf einen Schauplatzwechsel schließen – ja nicht nur schließen, man wird ihn hören.“¹⁶ Das Hörspiel als radiospezifische, d.h. elektrotechnische Kunstform sollte die Potenziale eben jener Technizität nutzen, um sich den Anschein einer auditiven Natürlichkeit zu verleihen. Es galt in der Radiopraxis, die Technizität des Rundfunks produktiv zu nutzen, um Künstlichkeit zu kaschieren und Natürlichkeit zu simulieren. Denn, so Arnheim, „[e]ine Hörspielszene in einer Kirche, die nicht mithallt, wird unnatürlich wirken. (...) Der Raumhall dient zunächst dazu, den Raum eines Hörspielschauplatzes naturgetreu wiederzugeben.“¹⁷

Diese Form der auditiven Gestalttheorie erprobte experimentell die Synthese „neuer, eigner, unsichtbarer“ Räume einer „Hörbühne“.¹⁸ *Delay lines* avancierten in diesem Kontext von Rundfunksendungen zum adäquaten Mittel, die ästhetische Dimension auditiver Übertragungen gebührend zu berücksichtigen, nachdem spätestens seit Langhans' Grundlagenforschung bekannt war, dass in konzertanten Settings nicht allein Musikstücke, sondern ebenso architektonische Zeit-Raum-Regime von Akustik zu Gehör kamen (vgl. Kap. 1). Reichte es der Rundfunkpraxis bis dato aus, dass etwas erklang, geriet nun das *Wie* dieses Klangs in den kunsttheoretischen Fokus. So schrieb ein Chefingenieur der NBC 1931, die Art und Weise des „microphone placement has been increasingly important in radio broadcasting as the requirements of the art have become steadily more severe.“¹⁹ In den 1920er Jahren war es gängige Praxis, ein Klangbild einer orchestralen Aufführung um der Sache Willen wiederzugeben. Denn dort stand weniger die Aufführung selbst, sondern das technische Medium – das Radio – im Fokus des Interesses, der gesellschaftlichen Reflexion und Faszination. War es zunächst ausreichend, bspw. ein Orchester derart zu mikrofonieren, dass ein Großteil gehört wurde, avancierte es um 1930 zum Ideal, sämtliche Instrumente eines Orchesters radiophon zu übertragen. Das Ohrenmerk verschob sich dahingehend, dass die musikalische Qualität Wichtigkeit erlangte. Gleichermaßen galt für die Klangräume radiophoner Hörspiele.

16 Ebd., 64.

17 Ebd., 65-66.

18 Ebd., 65.

19 Hanson, O.B. (1931): „Microphone Technique in Radio Broadcasting“, in: *The Journal of the Acoustical Society of America* 3, 81-93, 81.

Es begann eine Arbeit an Klangräumen, die sich grundsätzlich von den Standards und Praktiken der Ära der Phonographie unterschied. Bis dato hatten sich Musizierende räumlich und körperlich nach den technischen Spezifika musikalischer Medien auszurichten – vornehmlich aufgrund der analogen Materialität der Medientechnik mit ihrer mechanischen Verstärkung von Akustik durch Schalltrichter. Pianist:innen hatten durchweg fortissimo zu spielen und Sängerinnen und Sänger mussten gemäß der Lautstärke einer Passage ihren Körper zum phonographischen Trichter hin- oder von diesem weg bewegen. Dahingegen war um 1930 eine Umkehr zu verzeichnen: Mikrophone waren mobil und konnten tendenziell flexibel in Räumen positioniert werden. Nunmehr hatte sich die Tontechnik nach den Körpern der Musizierenden zu richten und sich in musikalischen Situationen an ihnen auszurichten: Bestimmten vormals auditive Medien die Lage der Musizierenden, war es nun umgekehrt.

In diesem künstlerischen Kontext waren es Verzögerungsleitungen, die dazu beitrugen, dass der Rundfunk eine eigene, ernst zunehmende Kunstform begründete, da in Hörspielen akustische Räume authentisch simuliert werden konnten. *Delay lines* stellten einen ersten Schritt in der Medialisierung auditiver Räume dar, insofern sie die Bedingungen, denen Rundfunkproduktionen unterlagen, technisch transformierten. Sie waren keine Klangerzeuger, sondern im Kontext von musikalischer Ästhetik neue Verfahren der Simulation des Eindrucks auditiver Räumlichkeit unter den analog-technischen Bedingungen der 1930er Jahre. Der Hör-Eindruck von Räumen war mit *delay lines* in ihrer Funktion als „sound tunnels“ das Ergebnis von Übertragungen, sodass bspw. die langen Nachhallfahnen der Raumakustik einer Kirche ebenso imitiert werden konnten wie der trockene Klang eines Vorraums jener Kirche. Entscheidend war, dass „both of these effects – the small and the large room – can be produced at the same time in the same studio“.²⁰ Diese neugewonnene Ortsunabhängigkeit in der Produktion auditiver Räume wurde bei Arnheim explizit:

„Auf diese Weise lässt sich also etwa darstellen, wie ein dauernd aus dem gleichen Abstand ins Mikrofon sprechender und in Wirklichkeit ruhig an seinem Ort stehender Mensch aus dem Freien in eine enge Stube tritt, d.h. wir haben hier ein neues Mittel zur Darstellung scheinbarer Bewegung ohne Ortsveränderung.“²¹

„Bewegung ohne Ortsveränderung“ – so unscheinbar akustische Verzögerungsleitungen auf den ersten Blick erscheinen mögen, waren sie damit an der Virtualisie-

20 Anonym (1934): „How Echoes Are Produced“, 26.

21 Arnheim (2001 [1936]): *Rundfunk als Hörkunst*, 63-64.

rung auditiver Räume beteiligt. Übertragungsräume dienten nunmehr der intendierten Verzögerung von Akustik oder anders gewendet: *delay lines* fungierten als flüchtige Speicher akustischer Signale. Derart betrachtet funktionalisierten Verzögerungsleitungen das Zeit-Raum-Regime von Akustik zur kurzzeitigen Speicherung auditiver Ereignisse.

Die Eigenschaft von Delays, dass Übertragungszeiten von Signalen so gesehen als volatile Speicherzeiten eben jener Signale gelten dürfen, wurde nicht allein in der ästhetischen Praxis des Rundfunks erkannt. Entsprechend blieb die Nutzung von Delay als flüchtiges Speicherphänomen nicht auf den spezifischen Kontext der Klangästhetik des frühen Hörfunks beschränkt. Neben der Erläuterung der Funktionsweise von akustischen *delay lines* werden im Folgenden ihre Anwendungskontexte historisch rekonstruiert. Der Fokus liegt dabei, begründet durch die Quellenlage, auf der Frühgeschichte der Verwendung von Verzögerungsleitungen in den USA und den unterschiedlichen Bereichen, in denen sie verschaltet wurden. Diese strukturieren auch dieses Kapitel: Fernseh-, Radar-, Computer- und Funktelefontechnik.²² Damit wird anhand der temporalen Mikromechanismen der technischen Systeme, in die *delay lines* implementiert wurden, dargelegt, was sie in unterschiedlichen Bereichen erforderlich machte und für welche technischen Probleme sie die geeignete Lösung darstellten.

Dies ist technikgeschichtlich von Interesse. Akustische *delay lines* stellten in den zu schildernden Anwendungsbereichen eine kritische Bedingung für das störungsfreie Funktionieren technischer Medien dar. Allerdings markieren sie ein wissenschaftliches Desiderat, da sich ihnen bisher allein fallspezifisch statt historisch-komparativ gewidmet wurde.²³ Zudem wird meist (fälschlicherweise) be-

22 Von der Erläuterung der Implementierung akustischer Verzögerungsleitungen in frühen Unterwasser-Horchgeräten zur (U-)Boot-Detektion wird abgesehen, da dies bereits an anderer Stelle aufgearbeitet wurde (vgl. Kap. 4).

23 Für die Fernsehgeschichte vgl. Fickers, Andreas (2007): „*Politique de la grandeur*“ versus „*Made in Germany*“. *Politische Kulturgeschichte der Technik am Beispiel der PAL-SECAM-Kontroverse*, München, insb. 134–136. Für die Verwendung von *sound tunnels* in der Audioästhetik vgl. Doyle, Peter (2005): *Echo and Reverb. Fabricating Space in Popular Music Recording, 1900–1960*, Middletown; David Link hat der Frühgeschichte akustischer Verzögerungsleitungen einen Teil eines Aufsatzes gewidmet, vgl. Link, David (2006): „There Must Be an Angel. On the Beginnings of the Arithmetics of Rays“, in: ders. u. Siegfried Zielinski (Hrsg.), *Variantology 2. On Deep Time Relations of Arts, Sciences and Technologies*, Köln, 15–42, insb. 28ff. Link vernachlässigt aber, dass die *delay line* keine Erfindung der Fernsehtechnik war. Eine medienarchäologische Untersuchung gibt Maibaum, Johannes (2021): „Lumped Lines und Bucket Brigades – Verzögerungsleitungen als dynamische Speicher“, in: Wolfgang Ernst/Johannes Maibaum (Hrsg.), *Speicher. Theorie, Technologie, Archäologie. Ausgewählte Schriften von Horst Völz*, Bochum/Freiburg, 147–164.

hauptet, ihre ‚Erfindung‘ ginge auf William Shockley in den Bell Labs zurück.²⁴ Zudem sind akustische Verzögerungsleitungen medientheoretisch brisante Artefakte, insofern sie Implikationen für das „Übertragen“ und das „Speichern“ – neben dem „Prozessieren“ zwei von drei basalen Medienfunktionen nach Friedrich Kittler²⁵ – evozieren und sie somit für eine (noch ausstehende) Medientheorie des Speicherns von Relevanz sind.

Die Identifizierung jener drei basalen Medienfunktionen hatte für Kittler einen eher heuristischen Wert. Es erstaunt daher, dass diese Trias noch in der aktuellen Medienwissenschaft normative Wirkung entfaltet, wobei die Begriffe definitorisch meist als schon geklärt angesehen werden. Akustische Verzögerungsleitungen widersetzen sich jedoch den gängigen Zuschreibungen an das „Übertragen“ und das „Speichern“. In diesem Kapitel wird daher in einem zweiten Schritt ihre medienwissenschaftliche Bedeutung hinsichtlich dieser Medienfunktionen und deren Verschränkung dargelegt. Entsprechend zeigt das Kapitel, dass sich das Speichern als ein dynamischer Prozess ausgestalten kann, der nicht statisch mit ‚Fixierung‘, ‚Stillstellung‘ oder ‚Entzeitlichung‘ operiert, sondern auch auf Seiten akustischer, zeitlicher Figuren – verwiesen sei auf Begriffe wie Schallgeschwindigkeit, Frequenz, Flüchtigkeit, Verzögerung, Synchronität – zu verorten ist.

Im Sinne einer Genealogie flüchtiger Speicher ließe sich die akustische Verzögerungsleitung als eine Vorform modernerer Dynamic Random Access Memories (DRAM), Speichermodule für Computer, bezeichnen, die – wie es der Name schon sagt – im Gegensatz zur statischen RAM flüchtig sind. D.h., dass deren Speicherzellen im Millisekundentakt elektronisch neu beschrieben oder aufgefrischt werden müssen, um Daten zu bewahren.²⁶ Was die akustische Verzögerungsleitung dahingegen brisant macht, ist, dass sie Kurzzeitspeicherung als Akt der Übertragung von Daten oder Informationen realisiert. Damit eröffnet sich eine Differenz zu anderen Kapiteln dieser Arbeit, da Übertragungen in jenen zumeist keine semantisch sinnhaften Botschaften enthalten, sondern Sonarpings, Radarimpulse, Pistolenstöße oder Geschütlärm sind und die Botschaft vielmehr in der Zeitslichkeit der Übertragung selbst liegt.

24 Vgl. z.B. Williams, Michael R. (1997): *A History of Computing Technology*, 2. Aufl., Los Alamitos, 306.

25 „Speicherung, Übertragung und Verarbeitung von Information – nichts anderes ist die elementare Definition von Medien überhaupt.“ Kittler, Friedrich A. (1988): „Eine Stadt ist ein Medium“, in: Dietmar Steiner et al. (Hrsg.), *Geburt einer Hauptstadt 3: Am Horizont*, Wien, 507-531, 518.

26 Zur Dynamisierung des Speicherns vgl. Ernst, Wolfgang (2014): „Zwischen(-)Speichern und Übertragen. Eine medienarchäologische Analyse des digitalen Gedächtnisses“, in: Oliver Hinte/Eric Steinhauer (Hrsg.), *Die digitale Bibliothek und ihr Recht – eine Stieffkind der Informationsgesellschaft?*, Münster, 85-107.

Um vorab eine Definition zu geben, worum es sich bei einer akustischen Verzögerungsleitung handelt, kann sich der folgenden Kurzbeschreibung aus einer Quelle von 1948 bedient werden:

„An ultrasonic delay line functions by transforming an electrical signal into a sonic one by an electromechanical transducer, propagating it through a fixed path in the transmitting medium and then converting the sonic signal back into an electrical signal by a second transducer. Very long delays can be obtained by this method, in comparison to purely electrical devices, because of the greatly decreased velocity of sound as compared to the velocity of electromagnetic propagation.“²⁷

Das grundlegende Prinzip einer akustischen Verzögerungsleitung sieht demnach vor, dass – ähnlich der Rundfunkpraxis der Sound Tunnels – ein elektrisches Signal in ein akustisches umgewandelt wird. Dieses akustische Signal durchschwingt eine Strecke bestimmter Länge – je nach gewünschter Verzögerungs- respektive Speicherdauer –, um schließlich wieder in ein elektrisches Signal zurückgewandelt zu werden. Durch diese Übersetzungskette wird eine Übertragungszeit intendiert gesteigert. Diese wird durch drei Faktoren bestimmt: (1) die Länge der *delay line*, (2) ihr Trägermedium, bspw. Quecksilber und (3) externe Faktoren wie die Temperatur. Vollständig elektrische Module zur kurzzeitigen Verzögerung von Signalen waren 1948 schon bekannt, wie die obige Quelle betont.²⁸ Allerdings hatten akustische Verzögerungsleitungen diesen gegenüber wesentliche Vorteile, da sie leichter und preiswerter herzustellen sowie kleiner waren und dennoch verhältnismäßig lange Speicherzeiten von Signalen (im Millisekundenbereich) bewirken konnten: „Because of the ratio of about 100,000 to 1 between the velocity of the electromagnetic waves in the atmosphere to the sound waves in the medium, a time delay of the appropriate character could be conveniently obtained in a small space“, hieß es 1948 von Seiten des Radiation Laboratory am Massachusetts Institute of Technology (MIT) über die Vorteile der *acoustic delay line* gegenüber anderen Verzögerungsmodulen.²⁹

27 Huntington, Hillard B./Emslie, Alfred G./Hughes, Vernon W. (1948): „Ultrasonic Delay Lines I“, in: *Journal of the Franklin Institute* 245, 1-23, 1.

28 Seit den 1930er Jahren gab es vollelektronische Verzögerungselemente wie Filternetzwerke, vgl. Tawney, Gereld L. (1941): „Electrical Time Delay Line“, United States Patent Office No. 2.390.563, Application filed October 14, 1941, Patented December 11, 1945. Von der technikhistorischen Erläuterung solcher dynamischer Speicher wird dieses Kapitel absehen.

29 Arenberg, David L. (1948): „Ultrasonic Solid Delay Lines“, in: *The Journal of the Acoustical Society of America* 20, 1-26, 1. Arenberg arbeitete zu dieser Zeit am MIT Radiation Laboratory.